NaCl胁迫对小黄花菜生长及相关生理指标的影响[1]

耿晓东[1]，周英[1] 于明华[2]，汪成忠[1]，钱剑林[1*]

（1.苏州农业职业技术学院，江苏 苏州 215008； 2.苏州市园艺站，江苏 苏州 215128）

摘要：为探讨小黄花菜的耐盐机理，选育良好的耐盐植物以缓解土壤盐渍化问题，该研究选取小黄花菜（*Hemerocallis minor*）为试材，采用砂培法，研究不同浓度NaCl（50、100、150、200、250 mmol·L^{-1}）胁迫对小黄花菜的生长性状、细胞质膜透性和有机渗透调节物质含量等的影响。结果表明：（1）小黄花菜在100~150 mmol·L^{-1}NaCl胁迫浓度时损害初步显现，但不影响其存活；在200 mmol·L^{-1}以上浓度时生长被显著抑制，造成根系不发育、叶片受害、植株干物质积累显著不足，严重影响其生存状态；（2）50~150 mmol·L^{-1}盐渍环境下，叶片膜透性、MDA含量增幅较小，该浓度范围的NaCl胁迫造成的膜脂损伤有限；200 mmol·L^{-1}以上NaCl胁迫使得小黄花菜叶片的离子平衡无法继续维持，膜的选择透性丧失；（3）随着NaCl浓度的增加，叶片中脯氨酸含量显著增加；50~100 mmol·L^{-1}胁迫下，叶片可溶性糖含量在胁迫初期有所增加，在15 d时达到最大，胁迫后期开始下降；叶片中可溶性蛋白含量的变幅较为平缓，说明小黄花菜的主要渗透调节物质不是可溶性蛋白。该研究发现通过提高叶片膜透性、促进自身有机渗透调节物质的合成，能够在一定程度上缓解盐渍对植株的侵害，使得小黄花菜能够在50~150 mmol·L^{-1}以下盐碱地正常生长。

关键词：小黄花菜，NaCl胁迫，渗透调节，生长，质膜透性

中图分类号：S682.1+9　　　**文献标识码：**A

Effects of NaCl stress on growth and related physiological indexes in *Hemerocallis minor*

GENG Xiaodong[1]，ZHOU Ying[1] YU Minghua[2]，WANG Chengzhong[1]，QIAN Jianlin[1*]

收稿日期：2020-07-29

基金项目：江苏现代农业产业技术体系建设专项资金(JATS［2020]340)；苏州农业职业技术学院青年教师科研能力提升计划（19QN1010）；苏州农业职业技术学院科技培育项目（PY2003）。[Supported by Jiangsu Agricultural Industry Technology System Project (JATS［2020]340) ；Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture Young Teacher Research Capacity Improvement Program (19QN1010)；Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture Technology Cultivation Project（PY2003）.]

作者简介：耿晓东(1979-)，硕士，副教授，研究方向为花卉栽培生理研究，（E-mail）7587633@qq.com。

***通信作者：**钱剑林，硕士，教授，研究方向花卉产业化应用，（E-mail）qianjl03@126.com。

（1.*Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture*, Suzhou 215008, Jiangsu, China; 2.*Suzhou Horticultural Station*, Suzhou 215008, Jiangsu, China）

Abstract： To study the salt tolerance mechanism of *Hemerocallis minor* and select excellent salt-tolerant plants, sand culture in different concentrations of NaCl (50, 100, 150, 200, 250 mmol·L^{-1}) to explore the growth characteristics and related physiological indicators. The results were as follows: (1) 100-150 mmol·L^{-1} NaCl stress caused initial damage. Growth was significantly inhibited in a salty environment above 200 mmol·L^{-1}. (2) NaCl stress above 200 mmol·L^{-1} caused the cell membrane permeability and MDA content increased greatly. (3) The content of proline in the leaves increased significantly with the NaCl concentration increase; Under 50-100 mmol·L^{-1} stress, the soluble sugar content increased at the initial stage then became decreased. The maximum appeared at 15th day; The slow change of soluble protein content in the leaves suggested it was not the main adjustment substance. *H. minor* could alleviate the salinity damage by improving cell membrane permeability and promoting the organic osmotic adjustment substances' synthesis. For these reasons, *H. minor* could grow normally in saline-alkali soil below 50-150 mmol·L^{-1}.

Keywords： *Hemerocallis minor*, NaCl stress, growth, membrane permeability, osmoregulation substance

我国盐碱地面积大，分布广，加之近年来工业污染和盲目过量的施用化肥，导致次生盐碱土壤面积的不断扩大。耐盐植物的有效引入、筛选和培育，是盐碱地生物改良的重要手段（张荣梅等，2017）。种植耐盐植物，可增加土壤植被覆盖度，由此减少地表水分的蒸发，同时植物枯枝落叶的分解物也可提高土壤有机质含量，在一定程度上提高盐碱土地的生产和利用价值（张蕴薇等，2012）。小黄花菜（*Hemerocallis minor*）是阿福花科（Asphodelaceae）萱草属（*Hemerocallis*）多年生草本植物，产于我国土壤盐碱地程度较为严重的华北、东北、陕西、甘肃等地，展叶较早，花大色艳，是十分优秀的街头或花境材料（秦荣和尚成武，2002），在引种至江苏后，观察到其在盐碱土环境中表现较好。如能在盐碱地区种植小黄花菜，可增加盐碱土植物种质资源。目前，国内外对小黄花菜的关注十分有限，研究集中在其化学成分和药用价值上（Zhao et al., 2018；王建华等，1993；孔红和王庆瑞等，1990）。因此，对小黄花菜耐盐性和耐盐生理机制的深入研究，有助于全面了解其耐盐能力，为耐盐植物的筛选扩大种质资源库，对小黄花菜在盐碱地区的推广应用和抗盐育种具有十分必要的现实意义。

Ismail et al.（ 2014）研究表明，可溶性 Na^+和 Cl^-引起植物内部结构和生理功能的变化，细胞或组织内的生理代谢过程发生差异性表达，主要包括：结构损伤、物质组分变化、酶活性变化以及光合作用和呼吸作用异常等。植物的耐盐机理不同，生理改变不同，耐盐性的表

现途径也有不同。逆境胁迫下，最直接的危害形式是渗透胁迫。植物体内水势在高浓度的盐渍环境中显著低于土壤水势，吸水能力受到严重抑制，导致植物吸水困难，抑制植物的生长；其次是离子失调导致的伤害。盐胁迫导致土壤中积累大量的 Na^+，直接干扰其他离子诸如 K^+、Ca^{2+}的吸收和均衡，从而导致植物的养分吸收受到抑制，使生长发育受损，严重时致其死亡（张金等，2015；周莹等，2019）。总之，植物自身的耐盐性能够反映植物体内多种抗盐性状的权衡。为深入探讨小黄花菜耐盐性和其耐盐生理机制，全面了解其耐盐能力，本研究选取小黄花菜 2 年生苗为试材，采用不同浓度 NaCl 溶液模拟自然盐胁迫环境，观测小黄花菜在不同程度盐胁迫下的生长状态，同时分析相关耐盐性生理指标之间的相关性及其耐盐机理，在一定程度上揭示小黄花菜的耐盐范围，为小黄花菜的后续研究和生产实践提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点设置于苏州农业职业技术学院相城科技园。为避免雨水对试验结果产生影响，该试验在遮雨棚中进行，遮雨棚四面通风。2019 年春季，选取生长状况良好、无病虫害且长势基本一致的小黄花菜 2 年生营养杯苗，栽植于装有混合基质（砂子蛭石按体积比 5:1）的试验盆中。试验盆上口直径为 25 cm，深度为 20 cm，每盆 3 株，每盆装基质 2.5 kg。胁迫前对苗木进行常规管理，采用不同浓度 NaCl 的 1/2 Hoagland 配方营养液每 2 d 浇灌 1 次，保证其能够正常生长。缓苗 1 周后，对幼苗进行盐胁迫处理，每 2 d 浇灌 1 次含有不同浓度的 NaCl 的 1/2 Hoagland 配方营养液，每次浇灌量为 500 mL。

1.2 试验设计

采用随机区组设计，NaCl 设置5个梯度水平（50、100、150、200、250 $mmol \cdot L^{-1}$）进行试验，每个处理5盆，3次重复，以蒸馏水为对照（CK）。2019 年7月上旬对盆栽苗进行不同浓度盐胁迫处理，胁迫时长为25 d。在胁迫处理的第25天进行植株形态和生物量的测定；在胁迫处理的5、10、15、20、25 d 时，分别选取植株上相同方位中间位置功能叶片，选取时尽量保持叶片大小一致。流水及蒸馏水冲洗后的叶片用于测量膜透性。其余叶片经液氮处理后置入-80 ℃超低温冰箱保存，之后进行各项生理生化指标的测定。每个指标重复测定3次。

1.3 试验方法

1.3.1 盐胁迫下的生长指标测定

1.3.1.1 植株形态指标测定

株高：测量植株基部到生长点的长度为株高；新生根数：盐胁迫处理 25 d 后统计长度大于 1 cm 的白色新生根数量。

1.3.1.2 叶片伤害指数

观察盐胁迫处理第 25 天的叶片受损情况。根据叶片表观受损程度将叶片伤害指数分为 0 级（叶片表现为形态正常）、I 级（叶片表现为有少量的叶脉、叶尖、叶缘等部位变黄）、II 级（叶片表现为有近一半的叶片焦枯）、III 级（叶片表现为有大部分叶片焦枯，部分有掉落现象）、IV 级（叶片表现为有大部分叶片掉落甚至死亡现象）。

$$\text{叶片伤害指数}=\Sigma\frac{\text{各级株数}\times\text{级数}}{\text{最高级数}\times\text{总株数}}\times 100\%$$

1.3.1.3 生物量

将清洗后的小黄花菜植株从根茎基部分离，擦干水分后分别测定叶片和根系的鲜重，之后分别放置于 80 ℃烘箱内，烘干至恒重后分别测定叶片和根系的干重。

$$\text{含水量}=\frac{\text{鲜重}-\text{干重}}{\text{鲜重}}\times 100\%$$

1.3.2 生理指标的测定

膜透性、丙二醛（MDA）含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量参照李合生（2000）的方法进行测定。脯氨酸含量的测定参照邹琦（2000）的方法。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS25.0 进行方差分析，采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较，作图软件为 EXCEL2006。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对小黄花菜生长的影响

不同浓度的 NaCl 胁迫处理 25 d 后，小黄花菜的各项形态指标发生了不同程度的变化（表 1）。其中，株高变化极为明显，除 50 mmol·L^{-1} 外，各组别与 CK 间均达到显著差异（$P < 0.05$），株高分别比 CK 降低了 4.48%、6.07%、18.21%、26.26%、31.31%；叶片数量和新生根数也有不同程度的减少，叶片数在 150 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时显著减少（$P < 0.05$），在 250 mmol·L^{-1} 浓度胁迫下，叶片数为 CK 的 65.28%，新生根数在 150 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时也表现出相同的降低趋势，至 250 mmol·L^{-1} 浓度胁迫下，新生根数只为 CK 的 16.2%。

叶片伤害指数随着 NaCl 浓度升高呈现上升趋势，变化幅度从 11.7%直至 85.4%。50

mmol·L^{-1} 浓度胁迫下，小黄花菜的叶片受害程度较低；100 mmol·L^{-1} 浓度胁迫下，叶片受害程度开始明显显现；150 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时的叶片伤害指数达到 58.1%，大部分叶片显著出现叶缘枯焦，叶片枯黄的现象；250 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时的叶片伤害指数达到 85.4%，绝大部分的植株叶片受损极为严重，枯黄甚至枯萎。

表 1 NaCl 胁迫 25 d 的小黄花菜植株形态变化

Table1 The morphological changes of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

NaCl 浓度 NaCl concentration（mmol·L^{-1}）	株高 Plant height（cm）	叶片数 Leaf number	新生根数 New root number	叶片伤害指数 Leaf damage index（%）
0 (CK)	28.33±2.54a	7.2±0.38a	10.3±1.5a	0d
50	27.06±2.19ab	7.1±0.46a	10.1±2.0a	11.7cd
100	26.61±2.38b	6.7±0.52a	8.5±1.9a	27.9c
150	23.17±3.04c	5.6±0.53b	5.5±1.1b	58.1b
200	20.89±3.90d	5.1±0.62bc	2.2±0.8bc	63.6b
250	19.46±3.82d	4.7±0.58c	1.67±0.4c	85.4a

注：同列数据中的不同小写字母代表 $P < 0.05$ 水平差异显著，下同。

Note：Small letters indicated different significance at $P < 0.05$ levels. The same below.

由表 2 可知，NaCl 胁迫 25 d 后，小黄花菜叶片和根系干物质含量呈现下降趋势。100 mmol·L^{-1} 和 150 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时的叶片干物质含量与 CK 相比差异显著（$P < 0.05$）；200 mmol·L^{-1} 浓度胁迫的叶片干物质含量最低，平均值是 CK 的 52.58%；250 mmol·L^{-1} 浓度胁迫的根系干物质含量降低至 CK 的 57.53%。由此可见，100~150 mmol·L^{-1} 的 NaCl 胁迫对小黄花菜的干物质积累影响开始显现，在 200~250 mmol·L^{-1} 浓度时达到最高。

叶片和根系含水量的变化幅度较小，均是在 150 mmol·L^{-1}浓度胁迫时与 CK 组差异显著，之后较为平稳。叶片和根系能够保持较为稳定的含水量，但干重显著下降，说明小黄花的干物质积累在高浓度的 NaCl 胁迫下受到极大影响，但此时根系还具备一定的水分吸收能力。综合分析小黄花菜的各形态指标，发现小黄花菜在 200 mmol·L^{-1} 以下浓度盐渍环境中的耐受能力较强。0~100 mmol·L^{-1} 浓度的 NaCl 胁迫几乎不影响其正常的生长发育；100~150 mmol·L^{-1} 浓度时损害初步显现，但不影响其存活；200 mmol·L^{-1} 以上的浓度会造成小黄花菜的根系不发育、植株干物质积累显著不足、叶片萎蔫、焦枯，严重影响其生存状态，部分植株死亡。

表 2 NaCl 胁迫 25 d 的小黄花菜叶、根生物量和含水量变化

Table 2 Changes of leaf, root biomass and water content of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

处理 Treatment	叶片 Leaf		根系 Root	
	干重 Dry mass（g）	含水量 Water content（%）	干重 Dry mass（g）	含水量 Water content（%）
0 (CK)	0.97±0.22a	80.73±2.43a	1.46±0.37a	73.55±2.26a
50	0.82±0.18ab	81.25±1.23a	1.42±0.25a	73.07±2.11a
100	0.75±0.19b	80.43±2.65ab	1.31±0.25ab	72.88±2.86ab
150	0.77±0.09b	79.32±3.20b	1.06±0.21c	71.69±3.26b
200	0.51±0.05c	79.56±4.18b	1.17±0.28bc	71.04±4.20b
250	0.54±0.08c	78.29±3.92b	0.84±0.19d	70.66±2.64b

2.2 不同程度 NaCl 胁迫对小黄花菜叶片膜透性的影响

从图 1 可以看出，小黄花菜叶片的细胞膜透性随着 NaCl 浓度增加而逐渐增强，各处理组之间差异显著（$P < 0.05$）。不同时期各胁迫浓度间的变化趋势有所差异。50~100 mmol·L^{-1}浓度胁迫初期，膜透性变化不显著，表现出一定程度的 NaCl 耐受性，随着胁迫时间的延长，质膜透性显著增强；200~250 mmol·L^{-1}浓度胁迫初期，小黄花菜叶片的质膜透性显著增强，同时危害程度随着胁迫时间的延长愈加严重。

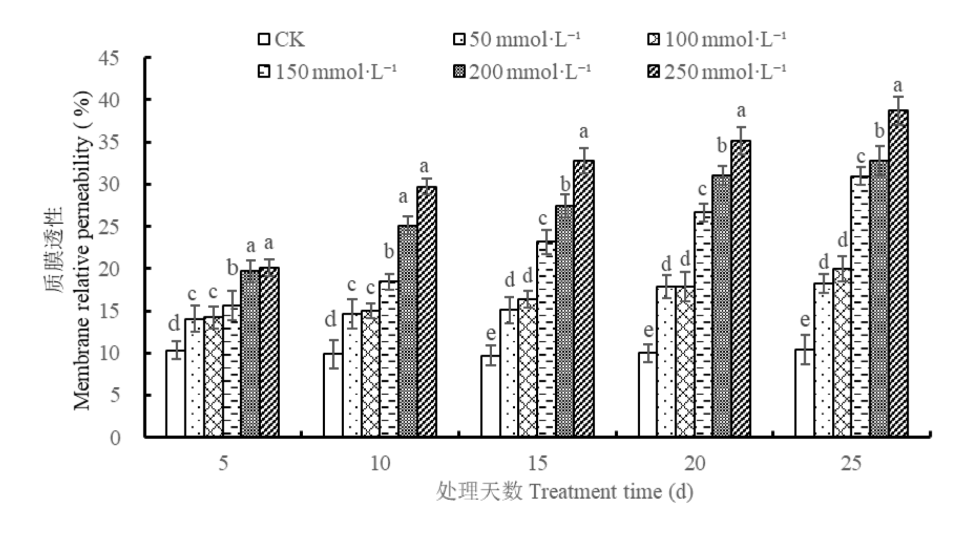


图 1 不同浓度 NaCl 胁迫下小黄花菜叶片细胞膜透性变化

Fig. 1 Changes of membrane relative permeability of *H. minor* leaves under different concentrations of NaCl stress

2.3 不同程度 NaCl 胁迫对小黄花菜 MDA 含量的影响

随着胁迫时间的延长，各组别小黄花菜叶片 MDA 含量均呈现递增的趋势（图 2）。在各时间点，50~100 mmol·L^{-1} 浓度胁迫的 MDA 含量增强较为缓慢，胁迫至 20 d 时有所降低；150 mmol·L^{-1} 处理组在胁迫初期增长缓慢，15 d 时 MDA 含量明显增加；200~250 mmol·L^{-1} 浓度胁迫时的 MDA 含量随着胁迫时间的延长，增加幅度比较大，且在各个处理时间点均与其它组别之间差异显著（$P < 0.05$）。

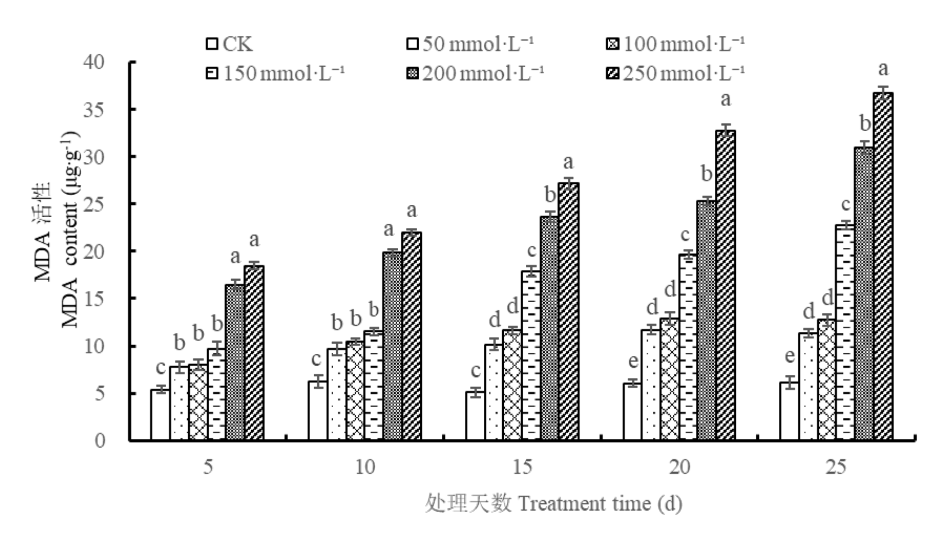


图 2 不同浓度 NaCl 胁迫下小黄花菜 MDA 含量变化

Fig. 2 Changes of MDA content of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

2.4 不同浓度 NaCl 胁迫对小黄花菜有机渗透调节物质的影响

从图 3 可以看出，50、100、150 mmol·L^{-1} 浓度的胁迫初期，小黄花菜叶片的可溶性糖含量均有不同程度的提高，最大值出现在 15 d 左右，随后显著降低（$P < 0.05$）；胁迫浓度为 200 和 250 mmol·L^{-1} 时，可溶性糖含量均明显低于 CK，且随着胁迫时间的延长有较为明显的降低趋势。

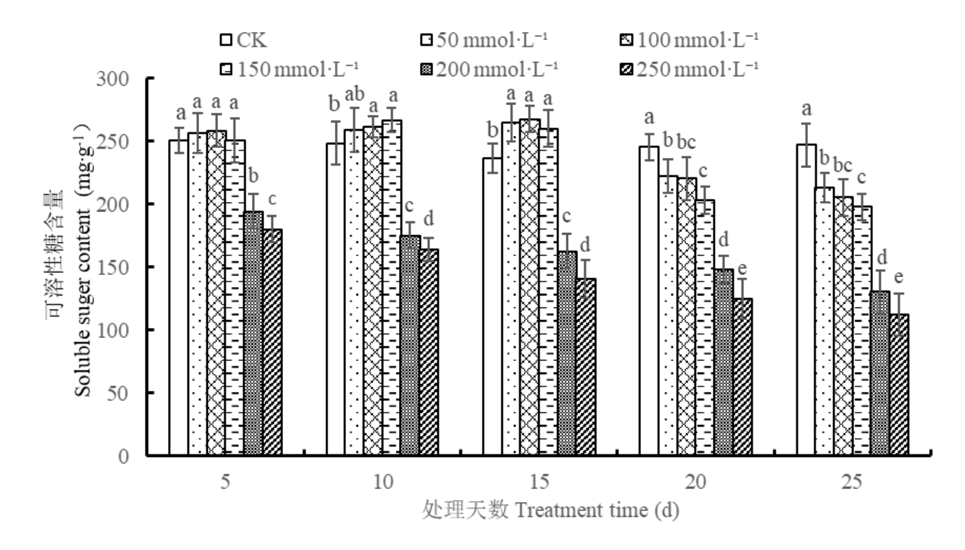


图 3 NaCl 胁迫下小黄花菜叶片可溶性糖含量变化

Fig. 3 Changes of leaf soluble sugar content of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

从图 4 可以看出，在不同处理组的同一处理时间点，小黄花菜叶片的可溶性蛋白含量差异不显著。处理 15 d 时，50~150 mmol·L^{-1} 处理组和 CK 相比略有升高，但差异不显著；处理 20~25 d 时，200 和 250 mmol·L^{-1} 的可溶性蛋白含量和 CK 相比显著降低（$P < 0.05$）。

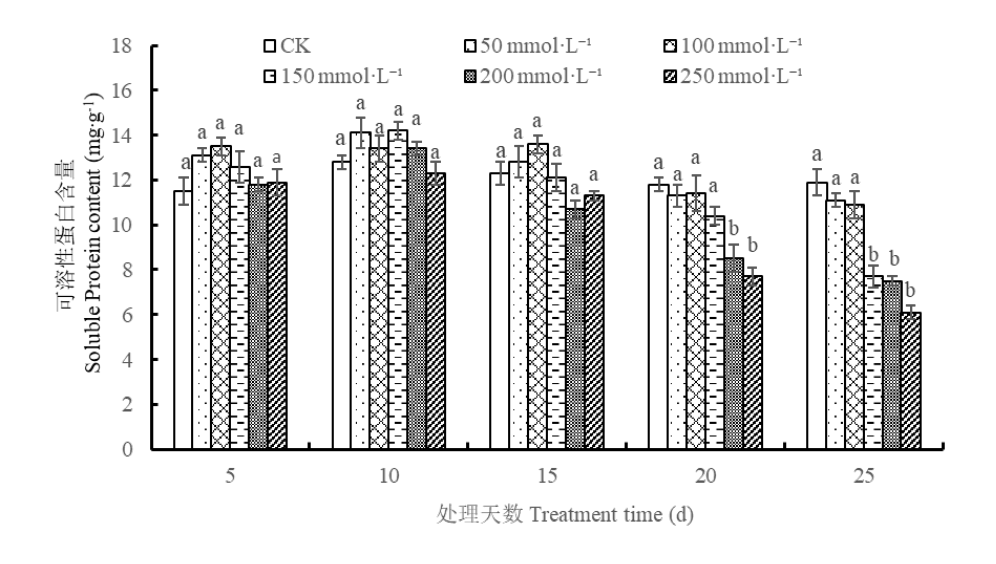


图 4 NaCl 胁迫下小黄花菜叶片可溶性蛋白含量变化

Fig. 4 Changes of leaf soluble protein content of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

图 5 为 NaCl 胁迫下小黄花菜叶片脯氨酸含量变化，在不同处理组的同一处理时间点，随着 NaCl 胁迫浓度提高，脯氨酸含量大幅度递增，并与 CK 相比达到显著性差异（$P < 0.05$）；各组别叶片的脯氨酸含量在胁迫处理的第 5 天、第 10 天、第 15 天时增幅较大。特别是 50~150

mmol·L^{-1}NaCl 胁迫下增幅明显。胁迫处理第 15 天，50、100、150 mmol·L^{-1} 组别的脯氨酸含量均达到最高值，较 CK 分别增加了 45.3%、 53.4%、 57.2%，之后，各处理组别脯氨酸含量均有不同程度的降低。

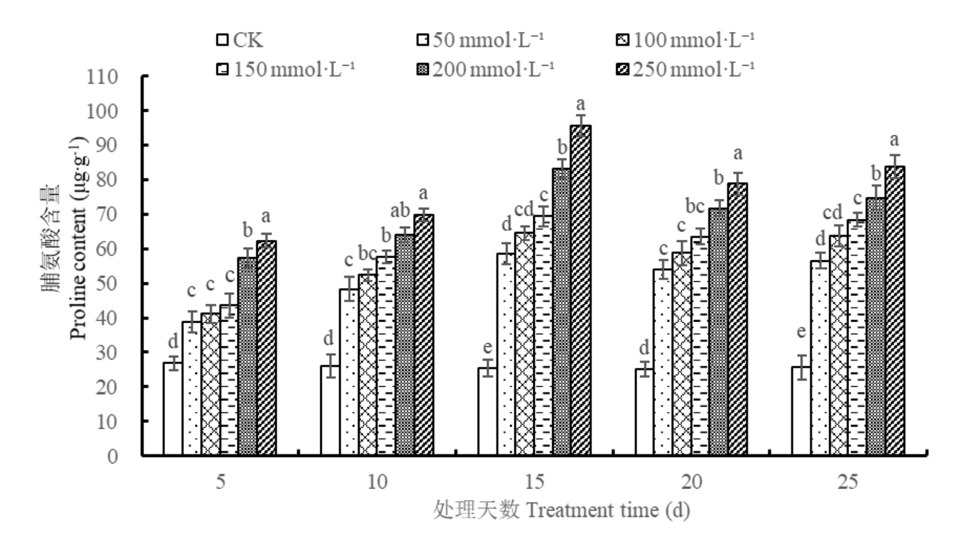


图 5 NaCl 胁迫下小黄花菜叶片脯氨酸含量变化

Fig. 5 Changes of leaf proline content of *H. minor* under different concentrations of NaCl stress

3 讨论与结论

土壤盐渍化导致植物的渗透调节能耗和维持生长能耗增加，这些因素一般会降低植物单株的生长量和净积累量（Parvaiz & Satyawati , 2008; 党培培等，2019）。本研究中，小黄花菜的生长指标，如叶片数量、新根数量、植株高度在盐渍环境中均有不同程度的降低，说明一定浓度的 NaCl 胁迫抑制小黄花菜的生长，但只有在 100~150 mmol·L^{-1} 时差异才与 CK 出现显著性差异，表明小黄花菜不是盐敏感植物。此外，随着 NaCl 浓度的升高，小黄花菜的干物质积累量的变化是趋于降低，但轻度盐渍环境对其干物质积累影响有限，这与其它形态指标的结果类似。小黄花菜的叶片干物质积累最先受到盐胁迫的影响，根系的干物质积累损失则在叶片伤害植物达到 50%左右才开始显现。这些结果表明 NaCl 胁迫对小黄花菜叶片生长量的影响高于其对根系生长量的影响。这可能是由于小黄花菜根系较为发达，盐渍环境刺激了根系对水分、养分的吸收，其根系含水量基本保持稳定，减缓了干质量积累，同时也说明小黄花菜的地上部分对 NaCl 胁迫更为敏感。

面对盐胁迫压力，植物一方面通过渗透调节维持细胞代谢活动，同时通过增强抗氧化系统应对渗透胁迫（陈晓亚等，2007；Liang et al., 2018；Jiang et al.，2019），另一方面，激发体内一系列酶和非酶的抗氧化物质协同作用，以此达到清除过量的自由基，减轻 NaCl 对细胞的过氧化伤害的目的（韩志平等，2018；权有娟等，2019）。小黄花菜的细胞膜透性和

丙二醛含量均随着 NaCl 胁迫浓度的提高而增加，在酶促和非酶促系统的共同调控之下，较低浓度的盐胁迫造成的膜脂损伤有限；但在中等浓度盐胁迫时，离子平衡无法继续维持，膜透性开始显著提高，细胞膜伤害开始显现；研究显示，在 200 mmol·L^{-1} 盐胁迫时，Na^+的过度积累使膜的选择透性丧失，电解质大量渗透。本文研究结果显示了细胞膜透性和丙二醛含量的动态变化过程，由此表明这两种指标能够很好地反映小黄花菜的质膜变化情况。

有研究表明，盐胁迫处理下，不同植株合成积累的渗透调节物质种类有所不同（张淑红等，2005；张蕴薇等，2012；石婧等，2020）。本研究发现，随着 NaCl 胁迫浓度提高，小黄花菜叶片脯氨酸含量大幅度递增。由于积累的脯氨酸能够协调原生质体内外的渗透平衡，同时维持酶的构象，也减缓了可溶性蛋白的沉淀过程，调节膨压，从而解除电解质的毒害（赵佳伟等，2019）。这一现象在多种植物的相关研究中已经得到证实（肖雯等，2000；孔强等，2019；陈桂平和张晓东，2020；）。小黄花菜叶片可溶性糖含量变化趋势表明，胁迫初期小黄花菜主要通过提高可溶性糖含量，降低渗透势，维持细胞的内外平衡，而当胁迫超过一定程度时，渗透调节系统遭到破坏，细胞膜损伤严重，电解质大量渗漏，阻碍可溶性糖的合成和运输，导致可溶性糖含量下降趋明显，这与其它相关研究的结论相同（童辉等，2012；尚玥，2017）。此外，本研究结果显示，随着 NaCl 胁迫程度加深，小黄花菜叶片内的可溶性蛋白含量变化平缓，可推测可溶性蛋白并不是小黄花菜的主要渗透调节物质，这一结果与萱草属的其它物种有一定相似性（曹辉等，2007；韩志平等，2018）。

综上所述，小黄花菜对 200 mmol·L^{-1} 浓度以下的盐渍环境有较强的抗性，但在 200 mmol·L^{-1} 以上浓度的盐渍环境中生长受到显著抑制，如根系不发育、叶片受害、植株干物质积累显著不足等症状出现，严重影响其生存状态；NaCl 胁迫下，小黄花菜通过提高细胞膜透性、促进自身有机渗透调节物质的合成，一定程度上缓解了盐渍对植株的侵害。但在 200 mmol·L^{-1} 以上浓度时 Na^+的过度积累使得小黄花菜的离子平衡无法继续维持，膜的选择透性丧失，电解质大量渗透，造成渗透胁迫。本研究证明，脯氨酸和糖类物质代谢在小黄花菜的耐盐生理机制中发挥作用。

参考文献

ISMAIL A, TAKEDA S, NICK P, 2014. Life and death under salt stress: same players, different timing? [J]. J Exp Bot, 65(12): 2963-2979.

JIANG Z，ZHOU X，TAO M，et al., 2019. Plant cell-surface GIPC sphingolipids sense salt to trigger Ca^{2+}influx[J]. Nature, 572(7769): 341-346.

LIANG WJ, MA XL，WAN P，et al., 2018. Plant salt-tolerance mechanism：a review[J]. Biochem Biophys Res Commun, 495(1): 286-291.

PARVAIZ A, SATYAWATI S, 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a view[J]. Plant Soil Environ, 54(3): 89-99.

CAO H, YU XY, QIU S, et al., 2007. Effects of salt stress on growth and related physiological characteristic in *Hermerocallis fulva*[J]. J Hunan Agric Univ Nat Sci, 33(6): 690-693. [曹辉, 于晓英, 邱收, 等, 2007. 盐胁迫对萱草生长及其相关生理特性的影响[J]. 湖南农业大学学报（自然科学版）, 33(6): 690-693.]

CHEN GP, ZHANG XD, 2020. Analysis of mechanism in salt tolerance of dandelion salt-tolerant mutant 'BINPU 1.'[J]. Guihaia, 28(5): 330-333. [陈桂平, 张晓东, 2020. 蒲公英耐盐突变体'滨蒲 1 号'的耐盐性研究[J]. 广西植物, 28(5): 330-333.]

CHEN XY, TANG ZC, 2007. Plant physiology and molecular biology [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 533-551. [陈晓亚, 汤章城, 2007. 植物生理与分子生物学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 533-551.]

DANG PP, LI MY, ZHAO Z, et al., Effects of saline-alkali stress on growth of *Chrysanthemum morifolium* 'Hanluhong'[J]. Guihaia, 39(2): 228-237. [党培培, 李明宇, 赵喆, 等, 2019. 混合盐碱胁迫对地被菊寒露红生长的影响[J]. 广西植物, 39(2): 228-237.]

HAN ZP, ZHANG HX, LIU C, et al., 2018. Growth and physiological characteristics of daylily plants under NaCl stress[J]. Acta Bot Boreal-Occidental Sin, 38(9):1700-1706. [韩志平, 张海霞, 刘冲, 等, 2018. NaCl 胁迫对黄花菜生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 38(9): 1700-1706.]

KONG H, WANG QR, 1990. A study on cytology of three cultivars of *Hemerocallis citrina* baroni（Liliaceae）[J]. Guihaia, 10(4): 325-328. [孔红, 王庆瑞, 1990. 黄花莱三个品种的细胞学研究[J]. 广西植物, 10(4): 325-328.]

KONG Q, MA XH, GONG LX, et al., 2019. Growth and physiological responses of *Taxodium mucronatum* × *Cryptomeria fortunei* under different salt stress conditions[J]. SW For Univ Nat Sci, 39(2): 179-183. [孔强, 马晓华, 宫莉霞, 等, 2019. 不同盐胁迫条件下东方杉的生长及生理响应研究[J]. 西南林业大学学报, 39(2): 179-183.]

LI HS, 2000. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiments[M]. Beijing: Higher Education Press: 182. [李合生, 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社: 182.]

QIN R, SHANG CW, 2002. A daylily that combines edible, medicinal and ornamental purposes[J]. Forest by product and speciality in China, 5(2): 6. [秦荣, 尚成武, 2002. 集食用药用观赏于一身的小黄花菜[J]. 中国林副特产, 5(2): 6.]

QUAN YJ, YUAN FM, LI X, et al., 2019. Response of seedling growth and physiological characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd. under NaCl stress [J]. Guihaia, 12(07): 1-8.[权有娟, 袁敏飞, 李想, 等, NaCl 胁迫对藜麦幼苗生长及生理特性的影响[J]. 广西植物, 12(07): 1-8.]

SHANG Y, LIU T, WU LJ, et al., 2017. Different adaptations to salt stress in different ploidies of wheat[J]. Guihaia, 37(12): 1560-1571. [尚玥, 刘韬, 吴丽军, 等, 2017. 不同倍性小麦对盐胁迫的适应性差异[J]. 广西植物, 37(12): 1560-1571.]

SHI J, LIU DY, ZHANG FH, 2020. Physiological response and salt tolerance mechanism of cotton seedlings to salt stress[J]. Acta Agric Zhejiang, 32(7): 1141-1148. [石婧, 刘东洋, 张凤华, 2020．棉花幼苗对盐胁迫的生理响应与耐盐机理[J]. 浙江农业学报, 32(7): 1141-1148.]

TONG H, SUN J, GUO SR, et al., 2012. Effects of iso-osmotic $Ca(NO_3)_2$ and NaCl stress on the growth and osmotic substances of cucumber seedlings[J]. Acta Bot Boreal-Occidental Sin, 32(2): 306-311. [童辉, 孙锦, 郭世荣, 等, 2012. 等渗 $Ca(NO_3)_2$ 和 NaCl 对黄瓜幼苗生长及渗透调节物质含量的影响[J]. 西北植物学报, 32(2): 306-311.]

WANG JH，YANG JX, 1993. A study on the poisonous plants of *Hemerocallis* L.[J]. Acta Bot Boreal-Occidental Sin, 13(4): 316-321. [王建华, 杨金祥, 1993.萱草属有毒植物的研究[J]. 西北植物学报, 13(4): 316-321.]

XIAO W, JIA HX, PU LM, 2000. Studies on physiological index of some halophytes[J]. Acta Bot Boreal-Occidental Sin, 20(5): 818-825. [肖雯, 贾恢先, 蒲陆梅, 2000. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J]. 西北植物学报, 20(5): 818-825.]

ZHAO XC, DU JL, XIE YG, et al., 2018. Chemical constituents of the flowers of *Hemerocallis minor*[J]. Chem Nat Compd，54(3): 556-558.

ZHANG JL, LI HR, GUO SY, et al., 2015. Research advances in higher plant adaptation to salt stress[J]. Acta Pratac Sin, 24(12): 220-236. [张金林,李惠茹,郭姝媛,等,2015. 高等植物适应盐逆境研究进展[J]. 草业学报,24(12): 220-236.]

ZHANG RM, MA YJ, 2017. Effect of NaCl stress on physiological characteristics of *Lycium ruthenicum* leaves[J]. J Gansu Agric Univ, 52(4): 110-117. [张荣梅, 马彦军, 2017. NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片生理指标的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 52(4): 110-117.]

ZHANG RM，MA YJ，2017．Effect of NaCl stress on physiological characteristics of *Lycium ruthenicum* leaves[J]．J Gansu Agric Univ，52(4)：110-117． [张荣梅，马彦军，2017．NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片生理指标的影响[J]．甘肃农业大学学报，52(4)：110-117．]

ZHANG SH, ZHANG EP, SI LT, et al., 2005. Effect of salt stress on osmotic substance content in cucumber seedlings[J]. China Veg, (12): 30-31. [张淑红, 张恩平, 司龙亭,等, 2005. 盐胁迫对黄瓜幼苗渗透调节物质含量的影响[J]. 中国蔬菜, (12): 30-31.]

ZHANG YW, LI HC, YANG FY, et al., 2012. Recent advances in salt tolerance of bioenergy grass in China[J]. J China Agric Univ, 17(6): 159-164. [张蕴薇, 李洪超, 杨富裕,等, 2012. 我国能源草耐盐性研究进展[J]. 中国农业大学学报, 17(6): 159-164.]

ZHAO JW, LI QY, LU B, et al., 2019. Physiological characteristics and comprehensive evaluation of *Pyrus calleryana* Decne. under NaCl stress[J]. Plant Physiol J, 55(1): 23-31. [赵佳伟, 李清亚, 路斌, 等, 2019. 不同品种北美豆梨对NaCl胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 植物生理学报, 55(1): 23-31.]

ZHOU Y, ZHAO YJ, HUANG LJ, et al., 2019. Physiological responses of *Schizonepeta tenuifolia* Briq. seedlings to salt stress[J]. J Nucl Agric Sci, 33(1): 166-175. [周莹, 赵永娟, 黄丽瑾, 等, 2019. 荆芥幼苗对盐胁迫的生理响应[J]. 核农学报, 33(1): 166-175.]

ZOU Q, 2000. Guidance of plant physiological experiment[M]. Beijing: China Agricultural Press. [邹琦, 2000. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社: 137-138.]